

О. Л. Гиниятуллина

канд. техн. наук, научный сотрудник института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

В. П. Потапов

д-р техн. наук, директор института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

УДК 574:528.88

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассматривается вопрос применения данных дистанционного зондирования Земли для решения задач геоэкологического мониторинга угледобывающих районов. Приводится алгоритм комплексного обследования состояния окружающей среды по космоснимкам. На примере горнопромышленного района Кузбасса показано практическое применение дистанционного мониторинга для оценки воздействия угледобычи на природные объекты.

Ключевые слова: ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ, ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, УГЛЕДОБЫЧА

Высокие требования, предъявляемые в настоящее время к мероприятиям по охране окружающей среды в зонах угледобычи, выявляют необходимость пересмотра основных подходов к их проведению. Классические методы геоэкологического мониторинга не дают удовлетворительных результатов при обследовании больших территорий, характерных для угледобывающих районов, что обусловлено точечным характером отбора проб и трудоемкостью, а часто и труднодоступностью мест обследования, в то время как требуется практически одномоментный анализ состояния большой площади.

При проведении геоэкологического мониторинга наиболее часто возникает ряд вопросов, которые связаны с определением границ объектов, выделением класса загрязняющих веществ, определением влияния загрязнения на растительность/почву, обнаружением зон деформаций земной поверхности. Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предоставляют уникальные инструменты для решения подобных задач. Применение космоснимков для решения задач мониторинга окружающей среды в зонах угледобычи позволяет отслеживать загрязнения водного бассейна, анализировать состояния растительности, выявлять деградацию почвенных покровов.

Таким образом, можно выделить следующие классы задач, решаемых технологиями дистанционного зондирования: 1. Определение

воздействия на окружающую среду; 2. Оценка загрязнений; 3. Определение границ и зон деформаций антропогенных объектов.

На сегодняшний день предлагаются следующие типы данных дистанционного зондирования, которые могут применяться при мониторинге окружающей среды: мультиспектральные, гиперспектральные и радиолокационные данные. Каждый тип данных имеет свои методы и алгоритмы обработки, а также классы решаемых задач. Рассмотрим более подробно применение данных дистанционного зондирования при обследовании конкретного угледобывающего района (рис. 1).

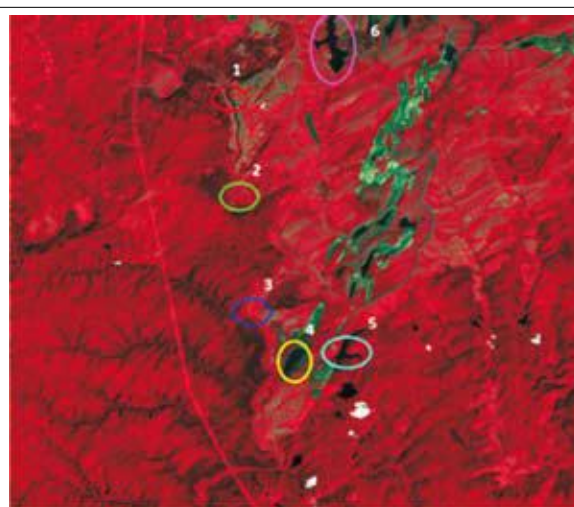


Рисунок 1 – Бунгурский геолого-промышленный район Кузбасса

Одной из серьезных проблем является загрязнение водных объектов в районах с активной угледобычей. Несмотря на то, что с 1959 г. разрабатывались, а в 1976 г. были введены методические указания по санитарной охране водоемов от загрязнения сточными водами предприятий угольной промышленности [1,2], и в последние десятилетия законодательно определены работы по очистке шахтных вод, состояние водной акватории крупных угледобывающих районов (Донбасс, Кузбасс, Канско-Ачинский угольный бассейн) вызывает серьезную тревогу. Ежегодно объемы сточных вод в Донецкой области составляют около 2 млрд м³, причём на угольную промышленность приходится более 50 % всех стоков. Для Кузбасса эта цифра составляет 58,9 % (1515,44 млн м³/г) неочищенных вод. При этом угольные предприятия сбрасывают 34,4 % всех взвешенных веществ и до 10 % нефтепродуктов.

Влияние горных работ на речной сток определяется величиной разгрузки подземных вод в реку за счет шахтного или карьерного водоотлива, увеличения питания реки по тем же причинам и уменьшения запасов подземных вод. Осушение районов добычи приводит к уменьшению запасов вод в поверхностных водоемах, высыханию колодцев и водозаборных скважин, иссяканию источников, ручьев и небольших речек. Для примера, в Кузбассе за последние 10 лет в зоне горных работ исчезло около 200 речек, кроме того, действующая речная сеть сократилась на 365 км.

При анализе водной акватории в качестве источников спектральных данных о водных объектах предлагаем использовать комбинацию снимков спутниковых группировок (Landsat, Spot 4, Modis, RapidEye и др.) с различным пространственным разрешением (5–30 м/пикс). Основ-

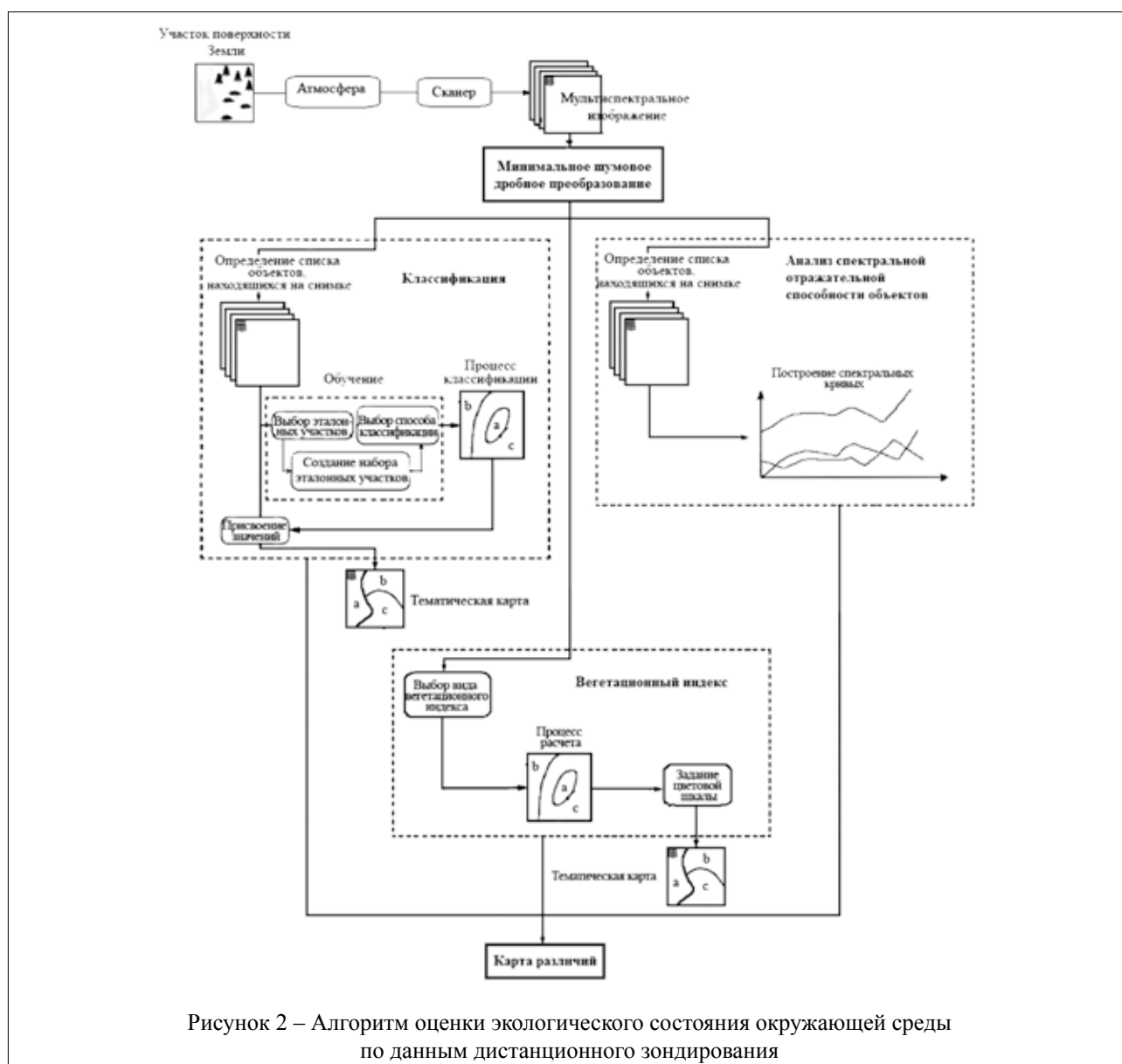


Рисунок 2 – Алгоритм оценки экологического состояния окружающей среды по данным дистанционного зондирования

ным методом анализа подобных данных является дешифрирование, которое выполняется по трем параметрам: текстура, структура и спектральные свойства объектов. В совокупности данные характеристики позволяют идентифицировать пространственные объекты на снимках, а также отслеживать их динамику. На рисунке 1 представлены зоны водных объектов, которые были подвергнуты обследованию.

Для оценки экологического состояния регионов разработан алгоритм обработки данных ДЗЗ (рис. 2), выполнение которого позволяет отследить и картировать изменения в интересующий момент времени.

Так как при оценке состояния водных объектов существенное значение играет минимальное отклонение спектральной отражательной способности, то для анализа необходимо удалить все возможные шумы из данных. Для отделения шума, присутствующего в исходных спектральных каналах, применяется минимальное шумовое дробное преобразование, которое также позволяет снизить вычислительные требования для последующей обработки снимка [3].

Данное преобразование является линейным и состоит из анализа двух отдельных независимых главных компонент. Метод заключается в нахождении таких базисных векторов исследуемого многомерного пространства, которые бы наилучшим образом отражали расположение некоторых исходных данных в этом пространстве (характеризовали их).

Для определения границ водных объектов с целью обнаружения возможных загрязнений, определения их типов и очагов локализации применяются алгоритмы классификации с обу-

чением (рис. 3), а также анализ спектральной отражательной способности объектов [4]. Применение алгоритмов классификации без обучения (методом IsoData и K-Means) не дает удовлетворительных результатов, т. к. территории обследования, как правило, имеют ярко выраженный рельеф с большим включением антропогенных объектов. При использовании более 20 классов становится трудно выделять объекты одного характера, тем самым внося существенные погрешности в дешифрирование снимков.

Большинство природных образований обладает различиями не в интегральной, а в спектральной отражательной способности. Для характеристики отражательных свойств чаще всего используют коэффициенты спектральной яркости, т. е. отношение монохроматических яркостей, которые можно анализировать в виде таблиц или графиков, называемых кривыми спектральной яркости.

В результате исследования на рассматриваемые водные объекты, заявленные выше, созданы спектральные библиотеки, содержащие кривые спектральной отражательной способности как по каждому узкому каналу, так и синтезированные. Следует заметить, что между спектральными кривыми озер и рек существует принципиальное отличие, представленное на рисунке 4. Как видно, графики спектральной отражательной способности закрытых водоемов имеют характер плавной кривой со снижением значения отражения с увеличением длины волны. Для объектов с активным током характерна несколько другая картина с резким ростом значений в зонах CIR и SWIR электромагнитного спектра. Подобная ситуация обусловлена тем,

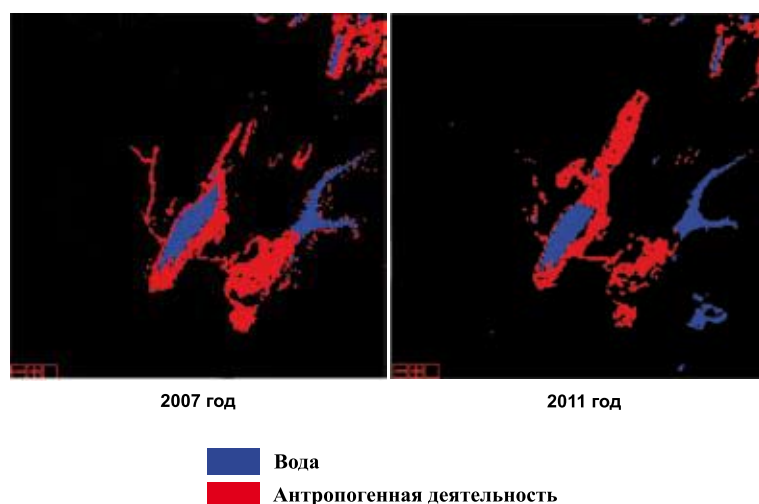


Рисунок 3 – Результат классификации на основе спектрального угла (участок Апанасовский)

что именно эти две зоны очень чувствительны к наличию примесей, растворенных в водной среде [3–5]. В закрытых водоемах подобные включения имеют тенденцию к оседанию на дно, в то время как в объектах с активным током идет постоянное перемешивание частиц в силу природных физических факторов, которые вызывают скачок значений отражений.

При анализе закрытых водоемов за эталон была взята спектральная кривая оз. Байкал (4), т. к. в нем содержится очень небольшое количество растворенных и взвешенных минеральных веществ, ничтожно мало органических примесей,

много кислорода, а в воде – так мало минеральных солей (96,7 мг/л), что она может использоваться вместо дистиллированной. Для анализа объектов с активным током в качестве эталона взята спектральная кривая из открытой библиотеки NASA. Затем выполнено сравнение полученных кривых между собой и с эталонными при помощи нормализации спектра коэффициента отражения, т. е. удаление континуума снимка, соответствующего второстепенному сигналу, не связанному с определенными поглотительными особенностями. С целью нормализации спектров к общей величине используется континуум

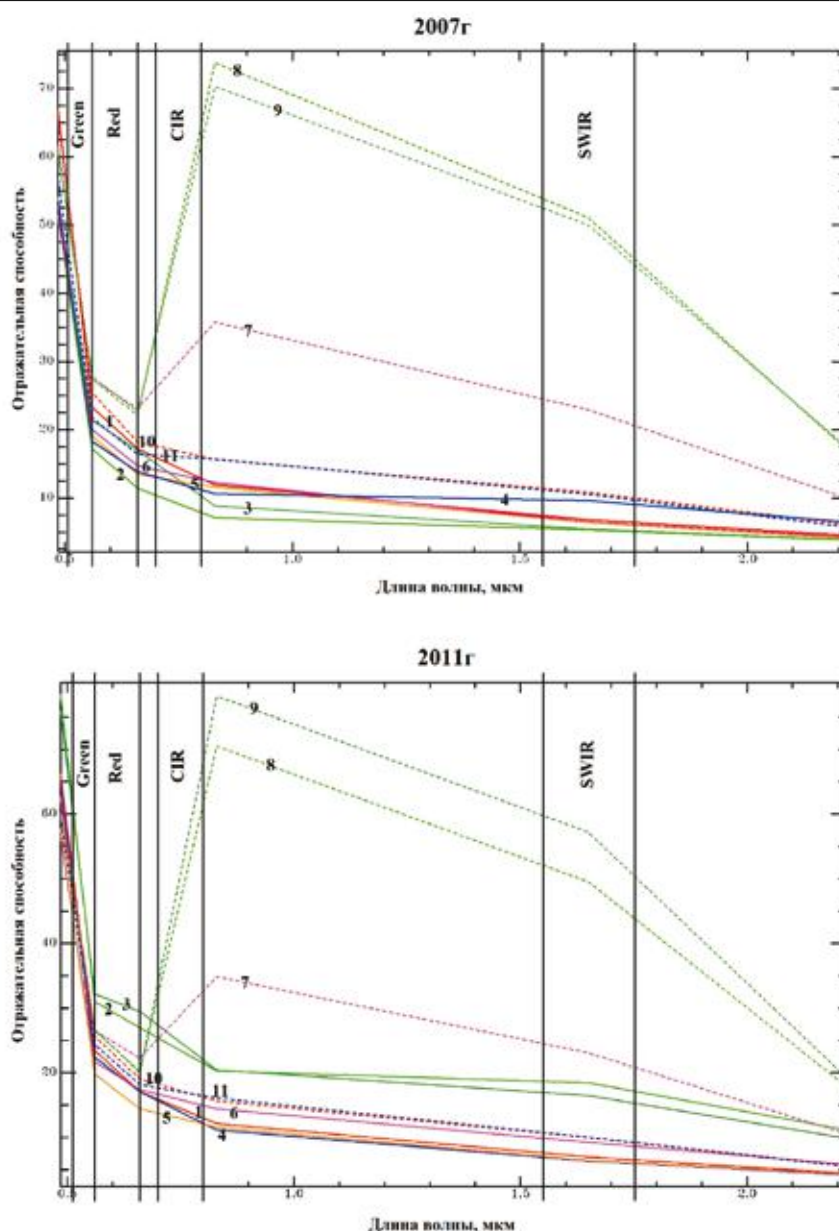


Рисунок 4 – Спектральные кривые:

- 1 – оз. Байкал (Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат);
- 2 – оз. Байкал (центр озера); 3 – оз. Байкал (р. Селенга);
- 4 – оз. Байкал (заповедник); 5 – оз. Телецкое; 6 – оз. Танай;
- 7, 8, 9 – р. Чумыш; 10, 11 – природно-техногенные водоемы Бунгурского района

ум, сформированный посредством определения высоких точек спектра (локальных максимумов) и соответствующий прямолинейным отрезкам между этими точками. Континуум удаляется путем деления его на оригинальный спектр. В итоге получаются нормализованные спектральные кривые, которые соответствуют диапазону значений эталонных кривых из библиотек.

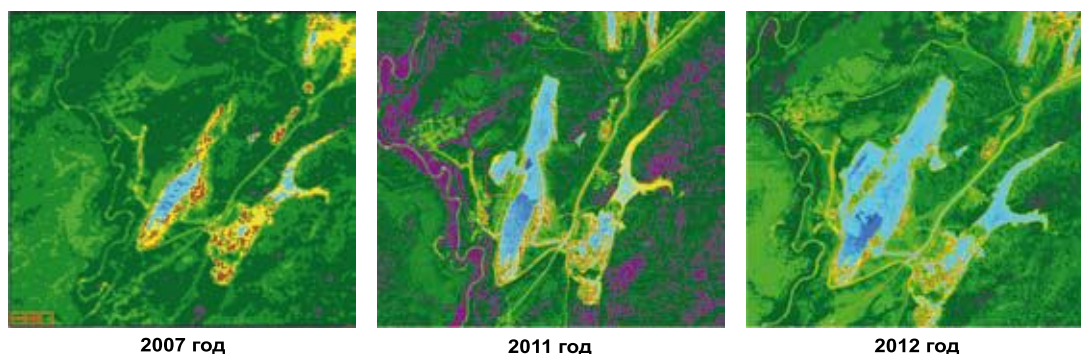
В ходе исследования были получены следующие результаты: наличие фитопланктона в воде можно отследить в зеленой (чем сильнее отражение, тем больше фитопланктона в воде) и красной (хлорофилл фитопланктона поглощает излучение и вызывает понижение яркости) зонах. Превышение количества взвешенных частиц в воде увеличивает отражение в ближней ИК-зоне спектра, а органические вещества (нефтепродукты, фенолы и т. п.) – в средней ИК-зоне. Таким образом, можно отследить, что наибольшее количество загрязняющих веществ (органических и неорганических) содержится в природно-техногенных водоемах Бунгурского района (2007–2011 гг.), а на озере Танай в 2011 г. наблюдается цветение водорослей, вызванное внезапным увеличением объема фитопланктона. Для русла реки Чумыш характерна картина с высоким содержанием взвешенных частиц и органических веществ вблизи угольного разреза, что вызвано смывом ливневым стоком данных веществ с бортов разреза и постепенным ослаблением их концентрации по току русла. Концентрация веществ в области населенного пункта (пос. Костеньково) достигает небольших значений, которые соответствуют санитарным нормам и удерживаются очистными сооружениями местной водоканальной системы.

Однако наличие загрязняющих веществ в водной среде не может не оказывать влияния на растительный мир. Анализ растительности предлагаем проводить по вегетационным ин-

дексам в динамике за несколько лет. Причем, так как существует тесная взаимосвязь «вода–растительность», то для адекватной и точной оценки, кроме нормализованного разностного индекса NDVI, следует применять комплекс индексов: инфракрасный вегетационный индекс; индексы, устойчивые к влиянию атмосферы (GEMI, ARVI, GVI); индексы, рассчитываемые по значениям коэффициентов отражения в узких спектральных диапазонах; индексы содержания влаги в растительности. Комплексное исследование растительности позволяет очерчивать ареолы угнетения биомассы и следить за их динамикой. Почти все распространенные вегетационные индексы используют только соотношение красного (RED) – ближнего инфракрасного (NIR) каналов, предполагая, что в ближней инфракрасной области лежит линия открытой почвы. Подразумевается, что эта линия означает нулевое количество растительности. На рисунке 5 приведены результаты расчета индекса для участка Апанасовский.

Как видно на рисунке 5, с 2007 г. по 2011 г. наблюдалось увеличение растительной биомассы, что выражено в оттенках красного, в 2012 г. зафиксировано снижение общего количества растительности, что может быть обусловлено природными условиями. Однако сложившаяся ситуация требует внимания специалистов по загрязнению воды, так как может являться побочным эффектом угледобычи.

В результате выполнения описанных алгоритмов можно получить карту различий за 2007–2012 гг. Для того, чтобы оценить масштаб всех изменений в целом, используются алгоритмы предварительной обработки, такие как нормализация (вычисляется путем вычитания изображений минимума и деления на диапазон данных изображения) и стандартизация (вычисляется путем вычитания изображений среднего и деле-



2007 год

2011 год

2012 год

Рисунок 5 – Результат расчета вегетационного индекса NDVI (участок Апанасовский)

THE REMOTE MONITORING OF ENVIRONMENTAL POLLUTION

O. L. Giniyatullina, V. P. Potapov

The question about using the earth remote - sensed data for the solution of geo-ecological monitoring of coal-mining areas problem is considered The algorithm of complex inspection of environment's state on satellite images is given. The practical application of remote monitoring to assess the impact of coal mining on natural objects is shown by the example of mining area of Kuzbass.

Key words: REMOTE MONITORING, EARTH REMOTE-SENSED DATA, GEO-ECOLOGICAL MONITORING , COAL OUTPUT

*Гиниятуллина Ольга Леоновна
e-mail: giniyatullina@ict.sbras.ru*

*Потапов Вадим Петрович
e-mail: potapov@ict.sbras.ru*